

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія Бурау

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «151 Автоматизація та комп'ютерно
інтегровані технології»**

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно інтегровані технології та сис-
тем навігації і керування»

на тему: «Акселерометр з системою самодіагностики»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПГ - 61

Телюк Андрій Сергійович _____

Керівник: доцент кафедри ПСОН , к.т.н., доцент

Мироненко Павло Степанович _____

Консультант _____

Рецензент:

Ст. викладач, к.т.н.,

Таранов Віктор Васильович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Зміст

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. АКСЕЛЕРОМЕТРИ ТА ЇХ ТИПИ.....	9
1.1 Акселерометри компенсаційного типу	11
1.2 Акселерометри осьового типу	13
1.3 Акселерометри маятникового типу.....	17
1.4 Навігаційний акселерометр АКС-05	21
РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЇ КОНТРОЛЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АКСЕЛЕРОМЕТРА	23
2.1. Самодіагностика з виведенням датчика з робочого режиму.....	24
2.2. Самодіагностика без виведення акселерометра з робочого режиму	26
2.3.Контроль працездатності акселерометра на основі використання структурної надлишковості.....	32
2.4 Програмна модель	35
Результати моделювання.....	38

Вступ

Акселерометри - це датчики вимірювання лінійного прискорення, які отримали широке застосування. Данні датчики широко використовуються в різноманітних сферах науки і техніки, наприклад, в системі навігації і управління, транспортних і літальних засобах, медицині і в більшій частині сучасної побутової техніки. Розроблення нових типових аксесуарів та їх модифікацій є актуальною задачею.

Акселерометр представляє з себе прилад, який має інерційний елемент, його переміщення відносно корпусу самого приладу обмежене пружним зв'язком

Співпраця акселерометра з об'єктом вимірів – процес взаємний. Отримані значення вимірювання будуть коректними в залежності від того, яким чином він встановлений на об'єкті, так щоб не змінював фізичний зміст процесу, який аналізується, наскільки датчик здатний сприймати і правильно відтворювати зміну вимірюваних параметрів в часі.

Важливими вимогами до датчиків є гарантування метрологічних характеристик протягом часу його експлуатації. Датчики мають перевищувати в міцності об'єкти виміру, мінімальними мають бути маса, об'єм, струмопровідність. Також до вимог відносяться: пожежобезпечність, перешкодостійкість, можливість багаторазового використання, володіння електромагнітною сумісністю.

Перші датчики мікроелектромеханічних систем (МЕМС) не мали вбудованих функцій самодіагностики. Інженери повинні були фізично нахилити у корпусі акселерометра друковану плату з встановленим датчиком і виміряти вихід датчика, щоб визначити, чи працює датчик відповідно до його специфікацій. Якщо вихід змінювався відповідно до застосованого руху, це вказувало на те, що датчик коректно працює. В іншому випадку датчик вважався "невдалим". Очевидно, ця жорстка процедура була непридатною для масового виробництва.

Останнім часом вбудована функція самодіагностики стала незамінною особливістю у датчиках МЕМС. Концепція самодіагностики полягає у застосуванні електростатичної сили до механічного чутливого елемента датчика та імітації ситуації, як ніби до пристрою застосовано дію зовнішніх сил. Якщо зміна вихідно-

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						7
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

го сигналу датчика з увімкненою функцією самоперевірки або без неї, знаходиться у визначеному діапазоні, це означає, що датчик працює правильно, відповідно до його технічних характеристик.

РОЗДІЛ 1. АКСЕЛЕРОМЕТРИ ТА ЇХ ТИПИ

Акселерометри - датчики лінійних прискорень, що застосовуються для вимірювання прискорення об'єкту, який рухається, та перетворює прискорення в електричний сигнал. Сигнали пропорційні прискоренню широко використовують для стабілізації і автоматичного управління рухомими об'єктами.

На сучасних літальних апаратах датчики прискорення застосовуються в автопілотах для покращення характеристик стійкості і керованості об'єкта, а в системах інерційної навігації – застосовуються, як датчики, призначені для вимірювання прискорення, з яким переміщується центр мас об'єкта. Акселерометри використовуються також в якості індикаторів площини горизонту в системах горизонтування гідростабілізованих платформ та інших пристроїв.

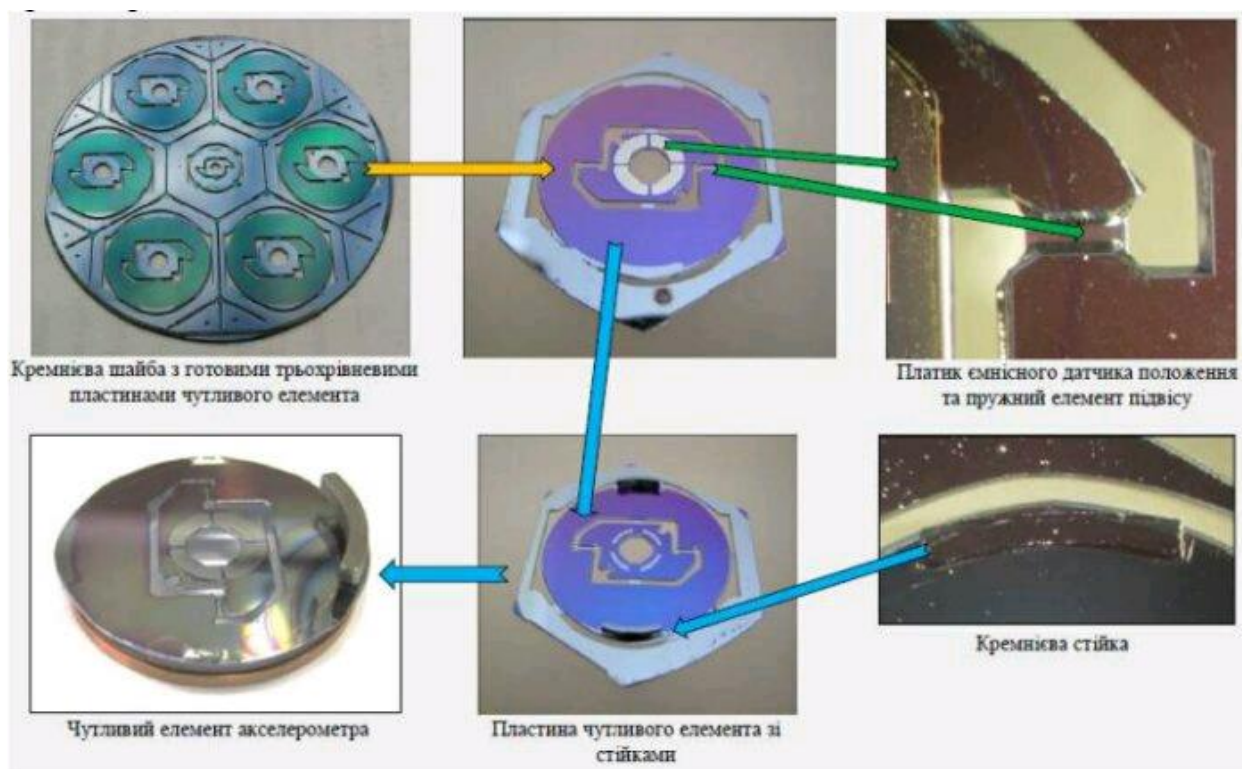


Рис. 1. Стадії створення чутливого елемента акселерометра АКС-05

Обов'язковою частиною акселерометра є чутливий елемент – фізичне тіло, що має певну масу. Цей елемент можуть називати: тягарець, якір, інерційна маса. Чутлива маса акселерометра, в більшості випадків, має правильну геометричну

форму і пружно зв'язана за допомогою механічних пружин або електричної пружини з корпусом приладу.

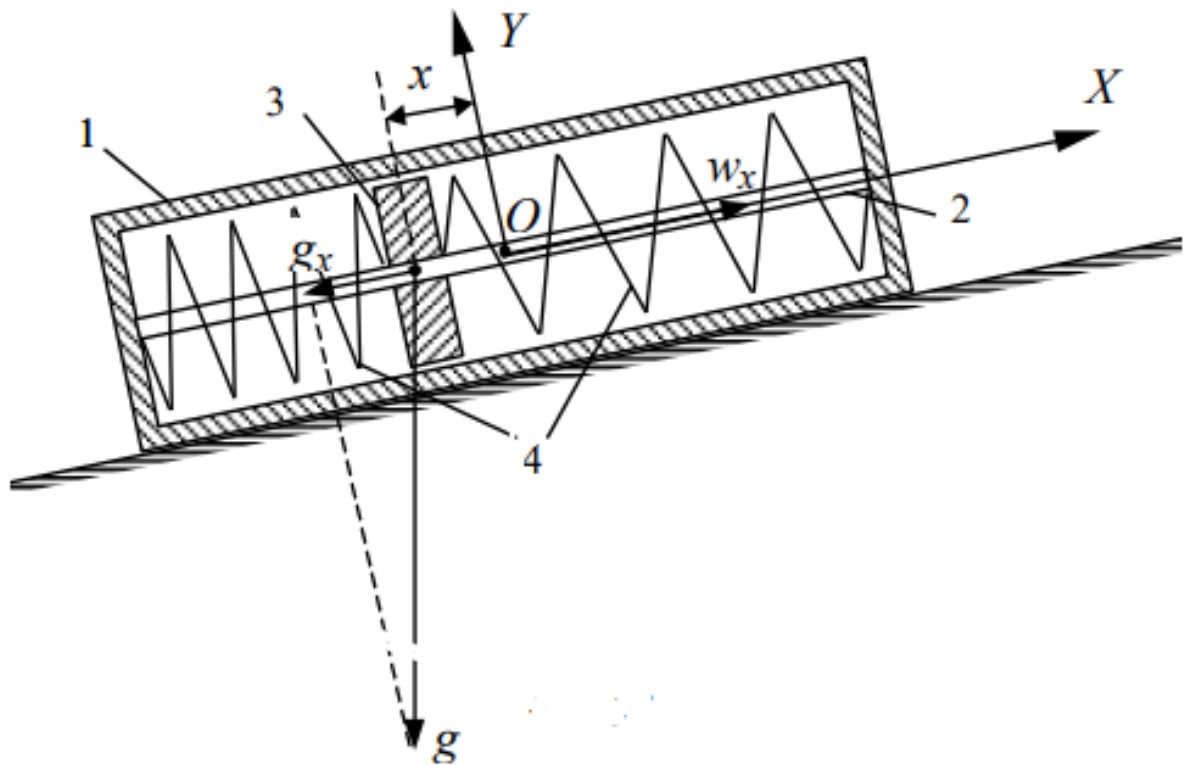


Рис 2. Кінематична схема однокомпонентного акселерометра

Акселерометри різняться між собою за принципом дії, габаритами, вагою, конструкцією, діапазоном вимірюваних величин і т. д. І при всіх цих відмінностях можна вказати основні ознаки акселерометрів.

1. За характером залежності між вимірюваним прискоренням і вихідним сигналом акселерометри поділяють на:
 - прості;
 - одноразово інтегруючі;
 - двократно інтегруючим.
2. За характером переміщення інерційної маси акселерометри можна розділити на дві групи:
 - з лінійним переміщенням рухомої системи (лінійні акселерометри);
 - з кутовим переміщенням рухомої системи (кутові акселерометри).

3. За способом підвісу інерційної маси (рухомого елемента) акселерометри можна розділити на 4 групи:

- з пружинним підвісом рухомий системи;
- з механічним підвісом рухомий системи в жорстких опорах;
- з гідравлічним підвісом рухомої системи;
- з комбінованим підвісом рухомої системи.

У наступних розділах цієї глави розглянуті питання розрахунку і вибору параметрів деяких типів акселерометрів

1.1 Акселерометр компенсаційного типу

Компенсаційний акселерометр, призначений для застосування в якості чутливого елемента в системах стабілізації, наведення та навігації. Прилад може знайти застосування в системах вимірювання кінематичних характеристик руху об'єктів.

Пристрій такого типу містить чутливий елемент, датчик кута, інтегруючий підсилювач зворотного зв'язку, датчик моментів, додатковий інтегруючий підсилювач, електронний ключ, пороговий елемент.

Недоліком такого датчика є низька точність вимірювання, що обумовлена точністю роботи інтегруючих аналогових підсилювачів і порогового елемента. Окрім цього точність вимірювання залежить від параметрів схеми електронного ключа, що здійснює вибірку інформації.

В приладах такого типу використовується автоматичне врівноваження сили інерції ЧЕ іншою силою, що створюється і вимірюється з необхідною точністю. Датчики цього типу представляють собою систему з від'ємним зв'язком, що зменшує значення відносної похибки.

В датчиках компенсаційного типу для отримання величини прискорення об'єкту може бути використаний датчик кута.



Рис 3. Компенсаційний акселерометр

Передатний коефіцієнт системи за корисним сигналом запишемо у вигляді:

$$K = \frac{x_{\text{вих}}}{x_{\text{вх}}} = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2}, \text{ де} \quad (1.1)$$

K_1 і K_2 - передатні коефіцієнти ланок прямого і зворотного зв'язку.

Якщо на виходах обох ланок присутні Δx_1 та Δx_2 то при умові, коли вхідний сигнал відсутній ($x_{\text{вих}} = 0$), результуюча похибка на виході буде:

$$x_{\text{вих}} = \Delta x_1 \frac{1}{1 + K_1 K_2} - \Delta x_2 \frac{K_1}{1 + K_1 K_2}. \quad (1.2)$$

Скоротимо обидві частини рівняння на $x_{\text{вих}}$, врахуємо відношення $x_{\text{ос}} = K_2 x_{\text{вих}}$. Значення відносної похибки становить:

$$\delta = \frac{\Delta x_{\text{вих}}}{x_{\text{вих}}} = \delta_1 \frac{1}{1 + K_1 K_2} - \delta_2 \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2}, \quad (1.3)$$

де $\delta_1 = \frac{\Delta x_{\text{вих}}}{x_{\text{вих}}}$, $\delta_2 = \frac{\Delta x_{\text{вих}}}{x_{\text{ос}}}$ відносні похибки ланок.

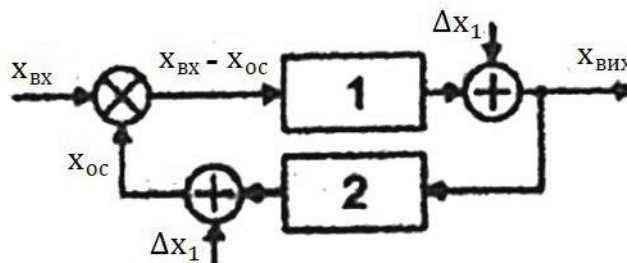


Рис 4. Структурна схема компенсаційного акселерометра

Відповідним вибором коефіцієнтів K_1 і K_2 можна управляти значенням результуючої похибки δ . За умов $K_1 K_2 \gg 1$, отримаємо $\delta \approx -\delta_2$, або $\Delta x_{\text{вих}} = -\Delta x_2$.

Виходячи з цього, похибка першої ланки виявилась виключеною, а сумарна похибка може визначитись тільки похибкою другої ланки, яку в загальному випадку можна зробити достатньо малою.

Зменшення результуючих похибок датчика можна досягнути зменшенням його чутливості, що пропорційна коефіцієнту передачі датчика. Із виразу (1.1) маємо, що, якщо виконується нерівність $K < K$, то при введенні від'ємного зворотного зв'язку коефіцієнт передачі акселерометра зменшується.

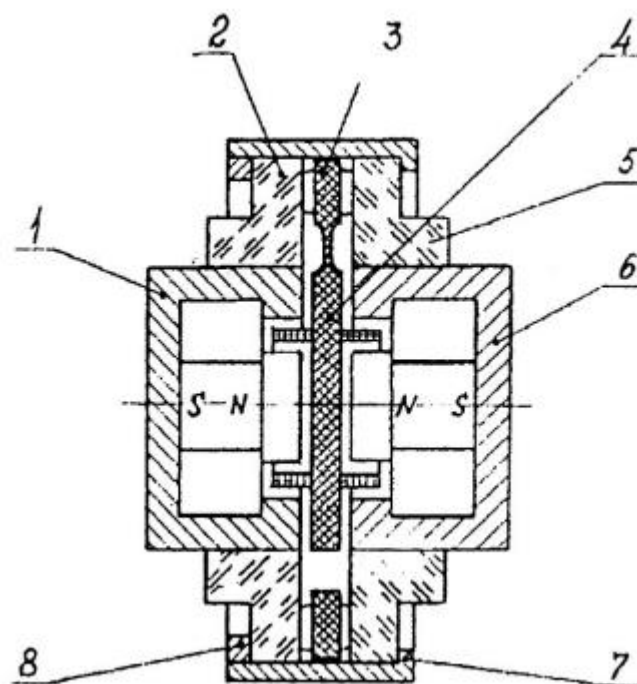


Рис 5. Конструкція компенсаційного акселерометра

(1, 6 – нерухомі електроди ємнісного датчика кута, 2, 5 – кварцові кільця, 3 – рамка маятникового вузла, 4- лопать маятникового вузла з котушками)

1.2 Акселерометри осьового типу

Датчики такого типу застосовуються для знаходження прискорень рухомих об'єктів і для перетворення цих даних в сигнал, що використовується для визначення траєкторії руху об'єкта, для автоматичного управління траєкторією, для визначення лінійних і кутових прискорень. Відповідно до цих призначень вони

можуть називатися як лінійними акселерометрами так і кутовими акселерометрами.

За призначенням розрізняють наступні акселерометри:

- візуального контролю;
- систем телеметричного контролю;
- систем інерційної навігації;
- систем автоматичного управління.

Також можемо поділи датчики за виконанням на такі групи:

- пружинні, побудовані по розімкнутій структурній схемі;
- компенсаційні, побудовані по замкнутій структурній схемі.

Компенсаційні датчики діляться на акселерометри:

- з позиційно-зворотним зв'язком;
- зі швидкісним зворотним зв'язком;
- зі зворотним зв'язком по прискоренню.

Акселерометри працюють з безперервним вихідним або дискретним сигналом. Найширше застосування датчики отримали на літальних суднах. Лінійне і кутове прискорення рухомого в просторі літального судна можна в кожен момент часу розкласти на три частини в системі координат, що пов'язана з літальним судном і орієнтовані на його головні осі.

Для отримання всієї інформації про лінійні і кутові прискорення літального апарату необхідно мати шість акселерометрів (три лінійних і три кутових), вимірювальні осі яких співнаправленні з головними осями літального судна і кожен з яких відповідає за окремий компонент лінійного або кутового прискорення.

У системах автоматичного управління траєкторією польоту іноді використовують не повну інформацію, а лише деяку її частину, наприклад обмежуються застосуванням двох лінійних акселерометрів, що вимірюють компоненти лінійних прискорень по поперечним осях літального апарату.

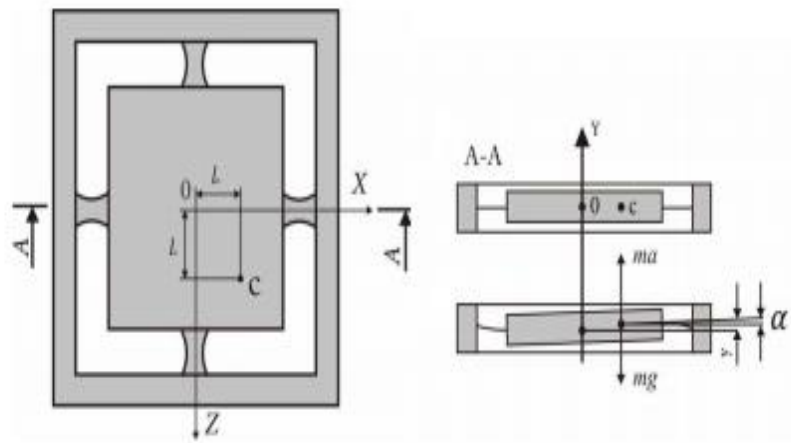


Рис 6. Конструктивна схема осьового мікромеханічного акселерометра

При застосуванні датчиків в системах інерційної навігації мають місце два лінійних акселерометра, вимірювальні осі яких орієнтовані по двох взаємно перпендикулярним напрямкам, що лежать в горизонтальній площині, причому один із напрямів зазвичай поєднують з площиною географічного меридіана. Можливі й інші способи орієнтації вимірювальних осей акселерометрів в залежності від обраної системи координат. Основною конструктивною частиною МА є чутливі елементи (ЧЕ), принципові схеми яких наведені на рис. 7. Чутливий елемент включає в себе інерційну масу 1, пружні елементи 2, елементи підвісу і опорну рамку 3.

ЧЕ, представлені на рис. 7, а, б, мають по дві пари пружних елементів перпендикулярно розташованих уздовж осей x, z ; початок цих осей розташований в геометричному центрі пластин інерційної маси. ЧЕ за схемою 7, б можуть бути виготовлені з меншою жорсткістю підвісу в напрямку осі, перпендикулярної до площини xz . Осі чутливості описаних ЧЕ збігаються з віссю y , а підвіси ІМ визначаються як хрестоподібні.

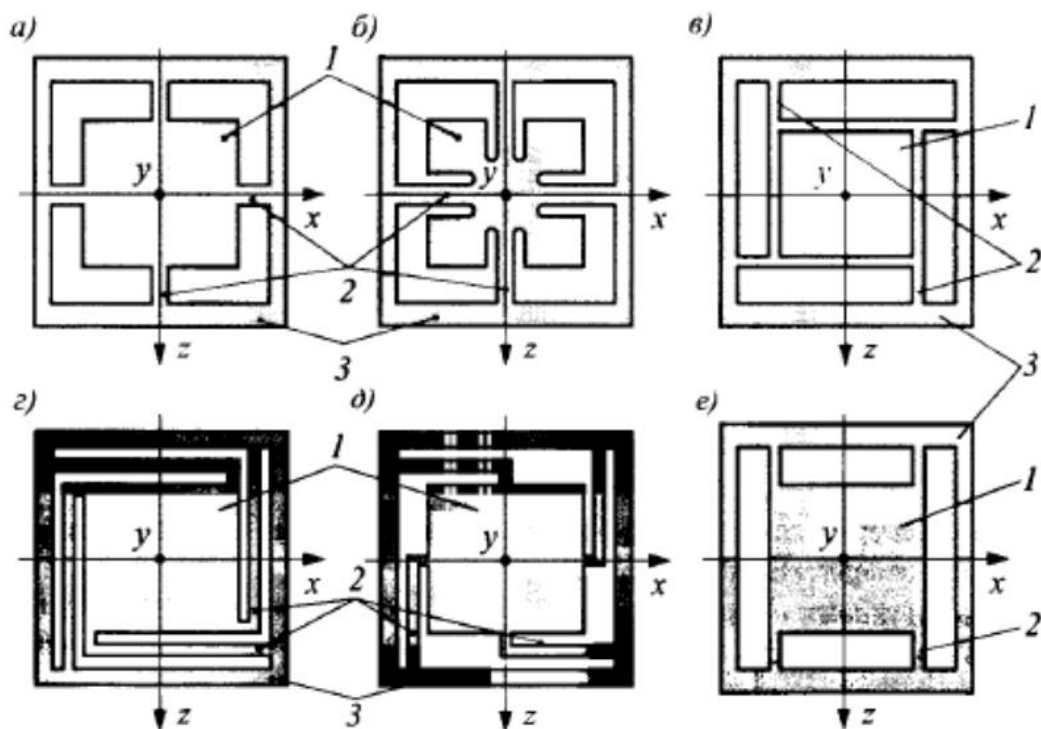


Рис 7. Принципові схеми чутливих елементів осьових МА: а, б – ЧЕ із хрестоподібним підвісом; в, г – ЧЕ із z-подібним кососиметричним підвісом; д - ЧЕ із z-подібним симетричним підвісом; е - ЧЕ із паралельним підвісом; 1 – ІМ; 2 – пружні елементи; 3 – опорна рамка.

Чутливі елементи, які показані на рис. 7, в, г, д, мають в собі по 4 пружних елемента. Пружні елементи поділені попарно, в свою чергу кожна пара паралельна з однією з осей x і розташовані або уздовж протилежних крамок пластин ІМ (рис. 7, в), або перпендикулярно ним (рис. 7, г, д). Ці підвіси можуть бути названі z-подібними. Між ними є різниця і полягає в тому, що місце з'єднання пружного елемента з пластиною ІМ відрізняється. На рис. 7, в, г пружні елементи своїми рухливими кінцями пов'язані з кутами пластин ІМ, а в схемі 4, е - з центрами.

Таким чином, підвіси ІМ по рис. 7, в, г визначаються як г-образні кососиметричні, а по рис. 7, д - як г-образні симетричні. ЧЕ за схемами 4, в, г, д мають осі чутливості, що мають спільний напрям з віссю y . Очевидно, що геометричні розміри пружних елементів підвісів за схемами 7, г, д можуть бути підібрані так, що ІМ буде чутлива до прискорення уздовж будь-якої з осей x , y , z . Таким чином, можливо створити трикомпонентні МА на одному ЧЕ.

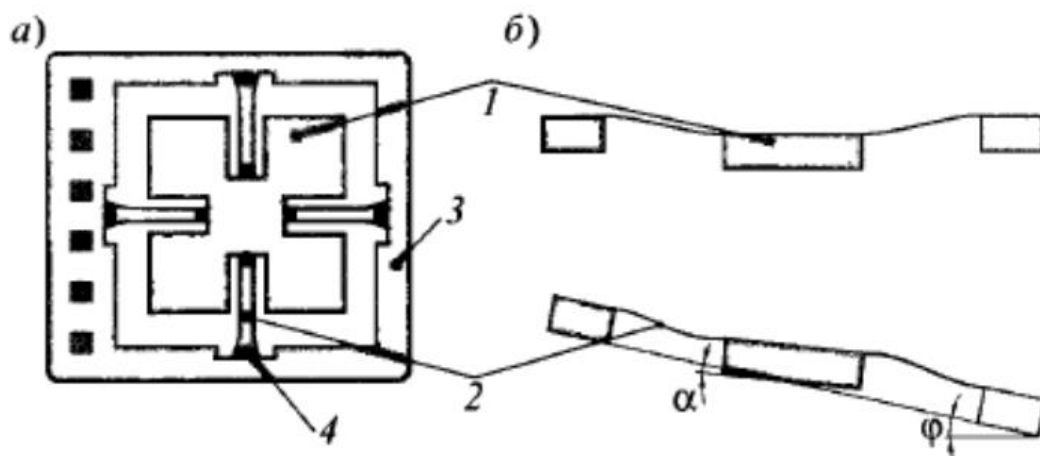


Рис. 8. Мікромеханічний акселерометр-нахиломір: а – схема нахиломіра; б – принцип виміру нахилу(кут між датчиком та рамкою); 1 - ІМ; 2 – пружні елементи (балки) підвісу; 3 – опорна рамка; 4 – п'єзорезистори

На рис. 8 зображено схему нахиломіру на базі МА. Принцип роботи самого нахиломіру зображений на рис. 8, б. Кут нахилу отримують з вихідного сигналу на двох повних мостах Вітстона. Нахилення датчику викривляє балки до S-подібного стану, які орієнтовані перпендикулярно положенню відносно осі нахилу, а балки, які паралельні, – реагують на кутові навантаження.

1.3 Акселерометри маятникового типу

Маятниковий акселерометр – датчик вимірювання прискорень з кутовим рухом чутливого елемента в системі координат, нерухомо зафіксованій з корпусом приладу.

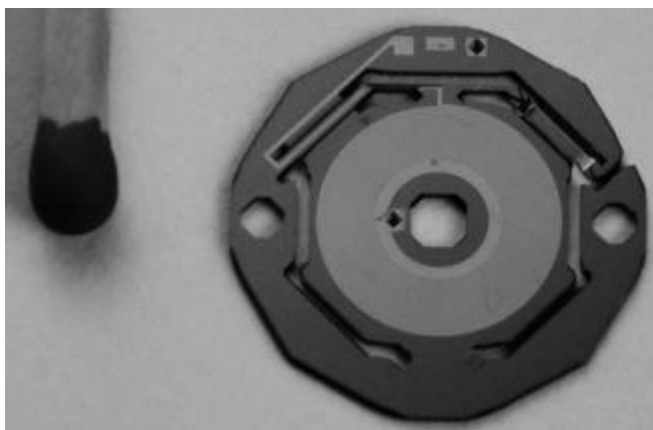


Рис 9. Маятниковий вузол акселерометра

Конструктивним вузлом маятникового акселерометра є чутливий елемент. Він в себе включає масу, яка за допомогою елементів підвісу фіксується до опорної рамки (основи). Пружні елементи підвісу можуть бути розташовані по принципу консольної або мостової схеми.

При мостовій схемі підвісу маса рухається тільки уздовж вимірювальної осі. Консольна схема підвісу маси має високу чутливість. Але все ж недоліком такої схеми є порушення співвісної рамки і маси при значних її переміщеннях.

Чутливі елементи маятникових мікромеханічних акселерометрів в своїй більшості мають консольну схему підвісу, в якій пружні елементи подібні до балок, що працюють на згин, або кручення.

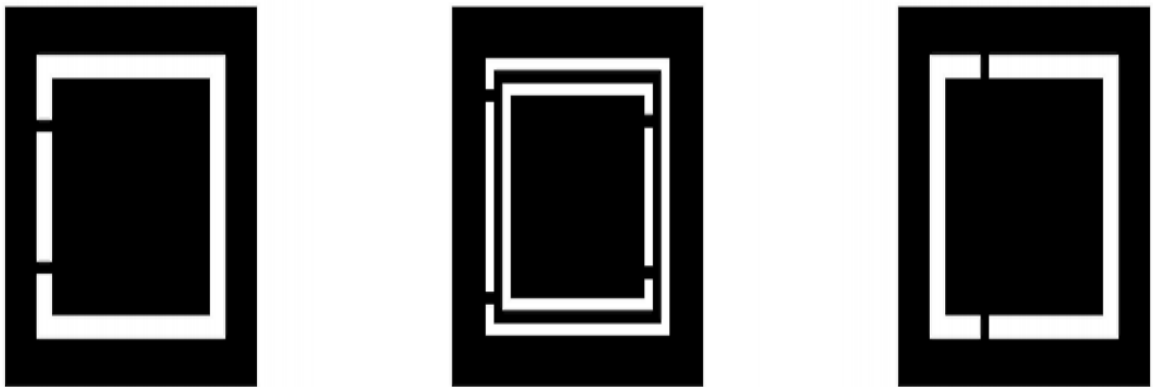


Рис 10. Принципові схеми чутливих елементів маятникових мікромеханічних акселерометрів

Основними характеристиками ЧЕ є:

- нормоване значення вимірюваного прискорення;
- основна чутливість;
- поперечна чутливість;
- частотний робочий діапазон;
- габаритно-масові параметри.

Плоский маятник виступає в якості чутливого елементом, він утворений інерційною масою m , центр мас якого зміщений від осі обертання на відстані l . Два горизонтальні демпфери (пружини) з необхідною жорсткістю, а саме $c/2$, зменшують можливість обертання відносно осі Ox , яка проходить через точку O . Маятни-

ковий датчик вимірює проекції прискорення на свою вимірну вісь (O_y), яка, в свою чергу, співпадає з перпендикуляром до плеча маятника.

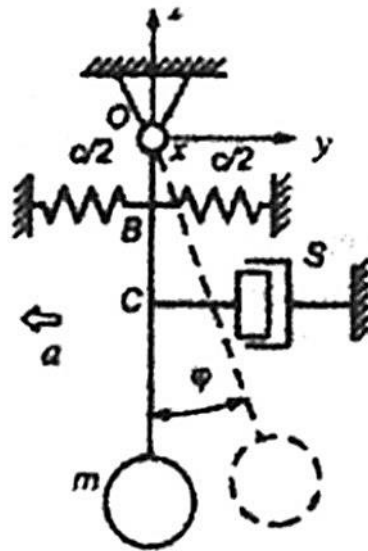


Рис. 11. Акселерометр маятникового типу.

Рівняння руху чутливого елемента має наступний вигляд:

$$\ddot{\varphi} + 2\xi\omega_0\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = \frac{mla_y}{l_x}\cos\varphi + \frac{mla_z}{l_x}\sin\varphi + \frac{M_x}{l_x}, \quad (1.4)$$

де $\omega_0 = \sqrt{c'/l_x}$ - частота власних незгасаючих коливань,

$\xi = \frac{f}{2\sqrt{c'l_x}}$ - коефіцієнт згасання,

$s' = s|AC|^2$ - коефіцієнт кутового демпфування,

$c' = c|AC|^2$ - кутова жорсткість пружини,

a_y і a_z - складові прискорення на відповідних осях, а M_x - сума моментів випадкових сил.

Недоліком датчиків такого типу вважається те, що при відхиленні маси прилад починає реагувати на прискорення a_z вздовж відповідної осі, що перпендикулярна осі чутливості O_y . При цьому, тим більша складова a_y , чим більший кут відхилення. Для відключення такого явища використовують силову компенсацію.

$$J_{\xi}\ddot{\beta} + B\dot{\beta} + k\beta = ml\dot{V}_{\eta}\cos\beta + ml\dot{V}_{\zeta}\sin\beta + M_{\xi}, \quad (1.5)$$

де J_{ξ} - момент інерції рухомого вузла,

B – коефіцієнт кутового демпфування, ; k - кутова жорсткість пружини, ml - маятниковість рухомого вузла,

M_{ξ} - сума неврахованих шкідливих моментів, що діють по осі ξ .

Для маятникового датчика $n_0 = \sqrt{k/J_{\xi}}, \quad \xi = B/(2\sqrt{kJ})$. При невеликому

значенні β та $\dot{\beta} = \ddot{\beta} = 0$ для випадку $\dot{V}_{\eta} = \text{const}$ і $\dot{V}_{\zeta} = \text{const}$ маємо рівняння:

$$\beta^* = \frac{1}{k - ml\dot{V}_{\zeta}} (ml\dot{V}_{\eta} + M_{\xi}), \quad (1.6)$$

$$U_{\text{вих}}^* = \frac{k_{\text{пп}}}{k - ml\dot{V}_{\zeta}} (ml\dot{V}_{\eta} + M_{\xi}) = h_{\eta\text{max}} V_{\zeta}, \quad (1.7)$$

де $k_{\text{пп}}$ – передатний коефіцієнт датчика сигналу акселерометра;

$h_{\eta\text{max}}$ – коефіцієнт відношення вихідного сигналу до прискорення.

$$h_{\eta} = U_{\text{вихmax}}^* / V_{\eta\text{max}}, \quad \text{або } h_{\eta} = -U_{\text{вих}}^*(1g) / 1g, \quad (1.8)$$

де $-U_{\text{вих}}^*(1g)$ – вихідна напруга акселерометра.

Останнє рівняння підходить при виконанні калібрування цих приладів.

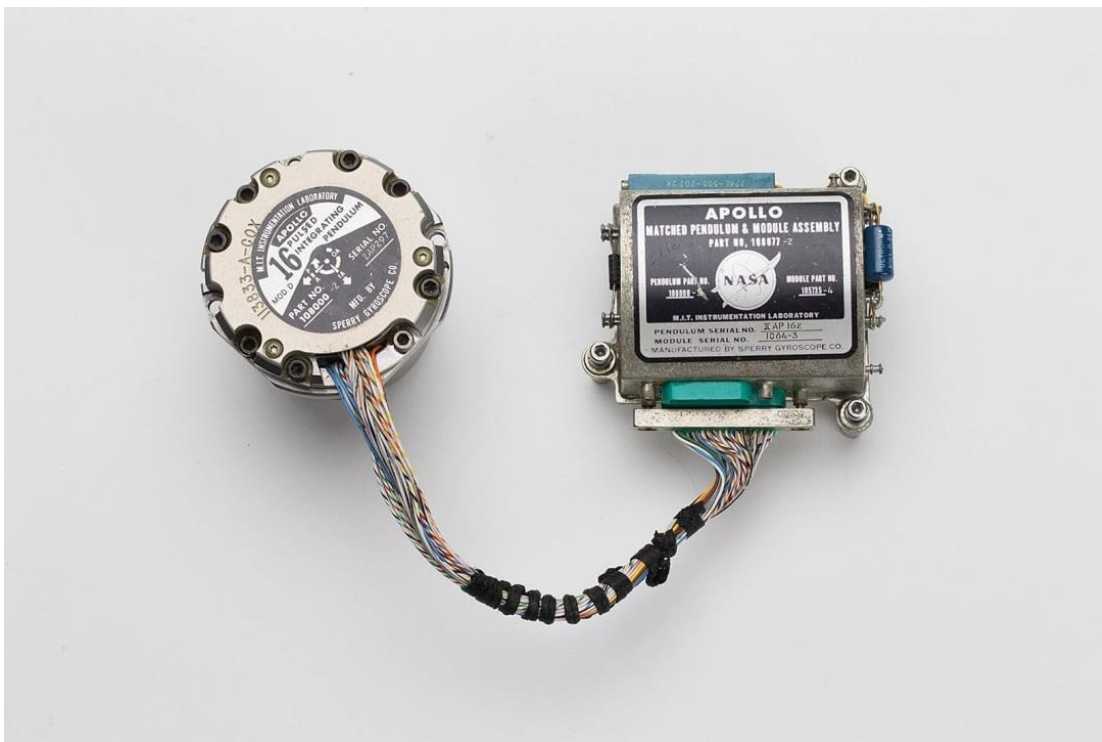


Рис 12. Імпульсний інтегруючий маятниковий акселерометр.

1.4 Навігаційний акселерометр АКС-05

Навігаційний акселерометр АКС-05 призначений для вимірювання проекції вектора лінійного прискорення основи на вісь чутливості акселерометра.

Застосовується в безплатформних інерціальних навігаційних системах для ракетно-космічної та ракетної техніки, авіаційних систем, наземних і морських об'єктів різного призначення.

Головною особливістю АКС-05 є маятниковий компенсаційний акселерометр з кремнієвим чутливим елементом та ємнісним датчиком положення, моноблочна конструкція з вбудованим пристроєм управління та датчиком температури.



Рис. 13. Зовнішній вигляд акселерометра на завершальному етапі складання.

Основні технічні характеристики

Діапазон вимірюваних лінійних прискорень, g	± 20
Масштабний коефіцієнт, мА/ g	$1,1 \pm 0,11$
Стабільність нульового сигналу, g	5×10^{-5}
Стабільність масштабного коефіцієнта, %	0,01
Діапазон робочих температур, °C	-40...+85
Напруга живлення, В	± 15
Габаритні розміри, мм	$\varnothing 41 \times 34$
Маса, г	80

РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ ФУНКЦІЇ КОНТРОЛЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Розвиток сучасних засобів механічної обробки і тенденція швидкої зміни типорозмірів виробів, що виготовляються, призводить до необхідності застосування спеціалізованих засобів вимірювань. З огляду на розвиток сучасної мікропроцесорної техніки і вимоги до низької вартості, уніфікації, автоматизації засобів вимірювань, перспективними є модульні інформаційно-вимірювальні системи, а також автономні цифрові прилади на базі мікропроцесорних датчиків.

Основною складністю при розробці модульних вимірювальних систем є забезпечення стабільності метрологічних характеристик і стійкості до зовнішніх впливів.

Для більшості цифрових засобів вимірювань обов'язкове індивідуальна калібрування і налаштування безпосередньо перед початком проведення вимірювань.

Однак існує потреба і в регулярній самодіагностиці приладів для відстеження та своєчасного усунення факторів, що впливають на точність вимірювань, способів проведення самодіагностики інтелектуальних мікропроцесорних приладів і запобігання збоїв визначаються на етапі їх проектування

Найбільш важливим аспектом роботи систем самодіагностики є можливість відстеження випадків некоректної роботи приладу. Прикладом є ослаблення фіксуючих елементів вимірювальної головки, її механічне зношування та направляючих в процесі тривалої експлуатації, зміна електромагнітної ситуації в зоні вимірювання, вплив температури та ін.

Було наведено експериментальне дослідження з визначення можливості проведення самодіагностики за допомогою спектрального аналізу для контролю ослаблення кріплень чутливого елемента контактного приладу для вимірювання лінійних переміщень.

Вимірювальні дані аналізуються, і створюється спектрограма, в області низьких частот якої виділяються компоненти, що визначають профіль вимірюваної деталі, що здійснює вібрацій, шум і ін. Величина деструктивної компоненти щодо профілю деталі і, отже, придатність вимірів до експлуатації визначається методом

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						23
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

порівняння зразкового спектра, побудованого за еталонної деталі в статичному режимі, зі спектрами перешкод, отриманими в результаті самодіагностики.

Таким чином, можливе виділення деструктивної компоненти, яка характеризує люфт при кріпленні датчика. Збільшення даного компоненту щодо еталонної спектрограми при самодіагностики дозволяє припустити наявність люфтів в кріпленні чутливого елемента. При перевищенні значенням компоненти максимально допустимого рівня оператору видається попередження про необхідність перевірки на працездатність і проведенні калібрування системи. Впровадження подібного алгоритму самодіагностики сприяє підвищенню надійності вимірювальних приладів.

2.1. Самодіагностика з виведенням датчика з робочого режиму

Для більшості сучасних акселерометрів, застосовуються наступні добре зареєстровані способи контролю працездатності:

- використання стороннього таймера з сигналізацією спрацювання;
- контроль вихідних аналогових і дискретних сигналів шляхом підключення їх до додаткового входу АЦП та портів вводу;
- оцінка реакції програмно-апаратних середніх блоків на відомі значення вхідних сигналів, в тому числі на спеціально сформовані тестові впливи;
- застосування алгоритмів перевірки цінності даних.

Працездатність ліній зв'язку та блоку інтерфейсу зазвичай контролюється шляхом періодичної передачі з датчика і перевірки на вищому рівні ознаки справності. Відсутність такої ознаки свідчить про відхилення датчика або обрив у лініях.

Складніше реалізувати контроль відмови датчиків акселерометра. Пов'язано це з тим, що окрім несправностей, що виражені в повній відсутності вихідного сигналу, що досить легко виявляє діагностичними засобами, для них характерні несправності іншого типу, що проявляються в невідповідності вихідного сигналу вимірювальній величині.

Одна з важливих діагностичних ознак відмови датчиків - частота встановлюючого резонансу, тобто резонансна частота. Відхилення значень цієї частоти від

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						24
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

норм свідчать про несправність датчика. Звідси слідує, що контролюючи резонансну частоту, можна зробити висновок про поточний стан відмови датчиків.

Так, для визначення значень резонансної частоти збуджують синусоїдальним сигналом з змінною частотою, одночасно контролюючи значення вихідної напруги датчика. Наявність резонансу чутливого елемента відмови датчиків підтверджується ростом амплітуди контрольного сигналу і зміщенням його фази на 90° відносно опорного сигналу. При виявленні вказаних ознак частота опорного сигналу буде відповідати частоті резонансу.

Ще один спосіб визначення частоти резонансу має принцип збудження згасаючих резонансних коливань шляхом впливу на нього імпульсу напруги, після чого визначають частоту коливань.

Обидва способи можуть з достатньою точністю визначити значення частоти резонансу, але є і недоліки.

Перший спосіб пропонує необхідність використання генератора тестового гармонічного сигналу з змінною частотою, фільтрів, що можуть подавляти складові вихідного сигналу датчика, обумовлені вібрацією об'єкта вимірювання, а також вимірювача частоти та фази. Всі ці складові використовують схему зовнішнього каналу.

Пристрій реалізації другого способу, схемо технічно простіший тому, що сигнал в ньому формується при допомозі джерела постійного напруги і ключа. Однак і вібрація об'єкта вимірювання може зробити вимірювання резонансної частоти неможливим, так як до корисного сигналу, що являє собою затухаючі коливання з резонансною частотою додається завада, що відповідає вібраціям об'єкта. Проведення перевірки неможливе без виведення датчика з робочого режиму.

Також відомий спосіб, що дозволяє об'єднати режим контролю працездатності з робочим режимом відмови датчиків. Досягання цілі полягає в тому що встановлений акселерометр на вібростенді, в якості вхідного сигналу, що надходить на акселерометр використовують відомі характеристики вібрацій основи, з вихідного сигналу за допомогою фільтрів виділяють ту складову, яка відповідає вібраціям, фіксують її та порівнюють з еталоном. Висновок стосовно працездатності датчика

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						25
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

робиться на відповідності фактичного значення отриманої складової. Недоліком даного способу є необхідність значного ускладнення конструкції датчика за рахунок введення до неї механічного збуджувача (вібруючої основи).

Таким чином, описані способи практично неможливо застосувати в складі датчика для періодичного контролю працездатності відмови датчиків без свого демонтажу з об'єкту вимірювання або без виводу цього об'єкта з робочого режиму.

2.2. Самодіагностика без виведення акселерометра з робочого режиму

З ціллю з'ясування можливості визначення резонансної частоти в режимі роботи датчика розглянемо принцип дії датчика.

Принцип дії полягає в наступному. При зміщенні основи в вертикальному напрямку з прискоренням a на акселерометр діє сила $F = -ma$. Так як матеріал датчика пружний, в відповідності до закону Гука під дією сили елементи деформуються, в кінцевому результаті це призводить до появи електричного заряду q . Цей заряд пропорційний величині деформації, а також і прискоренню a .

Датчик, що закріплений на масивній основі можна уявити в вигляді коливальної системи з одним ступенем свободи.

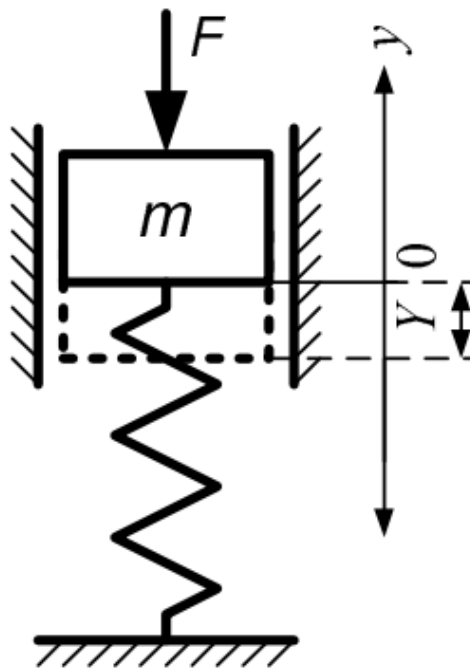


Рис. 14. Коливальна система з одним ступенем свободи.

Система містить тягарець масою m і невагомий пружний елемент, закріплений на нерухомій основі, що має спів напрямлену з переміщенням жорсткість c . Можна показати, що якщо під впливом сили F координата маси зміститься на величину Y , то у випадку миттєвого припинення дії сили при наявності демпфування маса почне здійснювати згасаючі коливальні рухи, які можна описати рівнянням:

$$y = Y e^{-ht} \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t - h^2\right) \quad (2.1)$$

де y – координата переміщення маси в вертикальному напрямі;

t – час;

h – коефіцієнт згасання.

В випадку акселерометра частота таких коливань практично буде співпадати з частотою резонансних коливань. Вимірюючи частоту коливань і зрівнявши її з номінальним значенням, можна зробити висновок про працездатність датчика. Приведена модель являється досить грубою тому, що не враховує пружність тягарця, можливість переміщення в інших напрямках і деякі інші ефекти, не дивлячись на це вона достатньо ілюструє запропонований метод.

Для збудження затухаючих коливань в описаній системі необхідно якимось чином деформувати пружний елемент. Під дією збуджених коливань виникає електричний заряд, який пропорційний миттєвому значенню деформації.

Реєструючи вихідний сигнал акселерометра і вимірюючи час півперіодів можемо визначити резонансну частоту, однак на практиці це ускладнено двома факторами.

По перше, після отримання тестового імпульсу заряд q на виході акселерометра складається з двох елементів: q_m – визваний механічним коливальним процесом, q_c – обумовлений сумарною ємністю чутливого елемента і з'єднувального кабелю, що заряджений тестовим імпульсом, Складові q_c згасає по експоненціальному закону по мірі розряду ємності чутливого елемента і кабелю через вхідні опори підсилювача, однак її початкове значення не набагато перевищує значення складової q_m .

Теоретично можливість відділення корисної складової q_m із сумарного сигналу є, так як характер зміни значення q_c відомий. Однак в дійсності для збудження значних механічних коливань чутливого елементу необхідно прикладати суттєву різницю потенціалів. Заряд ємності чутливого елементу і кабелю, який визваний цією різницею значно перевищує величину заряду, на реєстрацію якого розраховані канали вимірювання, послідовно після припинення тестового імпульсу сигналу на виході реєстратора протягом деякого часу буде знаходитися в зоні обмежування. До моменту виходу з цієї зони корисна складова q_m затухає настільки, що її опрацювання стає неможливим. Очевидним вирішенням проблеми є розширення динамічного діапазону вимірювального каналу, але це призводить до неоправданого ускладнення і збільшення вартості апаратури.

По друге, навіть при умові виключення складової q_c , вихідний сигнал буде тримати в собі складову q_v , обумовлену коливаннями об'єкта вимірювання. В таких умовах визначення на півперіодів q_m неможливе.

Для виключення складової q_c з вихідного сигналу передбачається короткочасне замикання виходів по завершенню тестового імпульсу. Це призводить до практично миттєвого розряду ємності чутливого елемента і кабелю, в той час як на механічний коливальний процес це замикання не вплине. В результаті після розмикання виходів заряд на них буде визначатися тільки механічним коливальним процесом і відповідати складовій q_m .

Однак при наявності вимушеної складової q_v такий спосіб не забезпечить отримання сигналу, придатного для безпосереднього вимірювання резонансної частоти.

Метод визначення працездатності датчика на працюючому обладнанні позбавлений вказаного недоліку і дає змогу виключити вимушену складову q_v із вихідного сигналу.

Можливість виключення цієї складової базується на припущеннях про періодичний характер її зміни та незмінності частоти і форми в декількох періодах. Перше припущення пояснюється тим, що вібрація елементів має періодичний характер, а друге базується на тому, що частота обертання ротора не може суттєво

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						28
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

змінитися за дуже короткий період часу. Форма вимушеної складової за цей час зміниться лише при умові зміни режиму роботи, або при різкому появленню дефекту. В такому випадку результат вимірювання частоти виявиться некоректним, однак запропонований метод дозволяє виявляти такі ситуації, які і так виникають досить рідко.

Для виключення вимушеної складової необхідно до формування тестового імпульсу визначити її період і запам'ятати форму декількох послідовних періодів. По закінченню тестового імпульсу збережена складова віднімається від сигналу, що має решту складових. Якщо складова q_v змінилася несуттєво, то результат вирахування буде відповідати вільній складовій q_m .

Реалізація методу визначення працездатності датчика на працюючому обладнанні складається з двох етапів: підготовчого і основного. На підготовчому етапі працюючий датчик монтується на обладнання і визначається резонансна частота, це значення приймається як номінальне. На основному етапі значення резонансної частоти порівнюється з номінальним значенням. У випадку, якщо відхилення перебільшує допустиме значення, діагностується відмова.

Для вимірювання резонансної частоти в працюючому режимі використовується метод, що описаний нижче.

В деякий момент часу, який визначається необхідною періодичністю контролю працездатності, починається процес вимірювання частоти. Протягом часу T_1 виконується реєстрація (запам'ятовування) послідовності $\{x_j\}$ миттєвих значень вимушеної складової q_v . При цьому значення T_1 вибирається з таким розрахунком, щоб воно в кілька разів перевищувало передбачувану тривалість періоду T_0 вимушеної складової.

Після того, як послідовність $\{x_j\}$ збережена, робиться спроба визначення її періоду T_0 і амплітуди A . Якщо період визначений успішно, то виконується перехід до етапу формування тестового імпульсу. Якщо ж значення T_0 визначити не вдалося (наприклад, через низький рівень сигналу або високого рівня перешкод), то значення амплітуди A порівнюється з мінімальним значенням A_{MIN} . Величина

A_{MIN} задає рівень вимушеної складової, до якого вплив цієї складової на перехідний процес дуже малий. В тому випадку якщо $A < A_{MIN}$, вважається, що вимушена складова відсутня і її можна не враховувати. При цьому для подальшої нормальної роботи алгоритму період T_0 приймається рівним деякій величині T_{DEF} - наприклад, 20 мс, що відповідає номінальній частоті обертання ротора ТА 3 000 об / хв. Ситуація, коли період послідовності $\{x_j\}$ визначити не вдалося, а її амплітуда перевищує A_{MIN} , виникає при неприпустимому рівні перешкод або різкій зміні частоти обертання ротора ТА. В цьому випадку цикл вимірювання переривається і реєструється помилка.

Після того, як значення T_0 визначено, на базі послідовності $\{x_j\}$ формується більш коротка послідовність $\{s_j\}$, що відповідає одному періоду вимушеної складової. Якщо раніше було встановлено, що амплітуда вимушеної складової нехтує мала ($A < A_{MIN}$), то $\{s_j\}$ заповнюється нульовими значеннями. Далі формується тестовий імпульс, як було описано раніше, після чого протягом деякого часу T_{REG} реєструється послідовність миттєвих значень віброприскорення $\{x'_j\}$, відповідна реакції ПА на імпульс. Величина часу T_{REG} вибирається в процесі адаптації алгоритму до конкретного типу датчиків і амплітуді тестового імпульсу таким чином, щоб за час часу T_{REG} перехідний процес в акселерометрах практично затухав.

Після закінчення часу T_{REG} виконується виключення вимушеної складової з послідовностей $\{x_j\}$ (до тестового імпульсу) і $\{x'_j\}$ (після тестового імпульсу) шляхом вирахування з них послідовності $\{s_j\}$. отримана послідовність $\{q_i\}$ буде містити тільки вільну складову перехідного процесу q_m , придатну для визначення резонансної частоти. Послідовність $\{z_j\}$ після виключення вимушеної складової на інтервалі T_1 в ідеальному випадку повинна містити тільки нульові значення. Насправді ж її значення відрізняються від нуля і відповідають сумі випадкових перешкод і складових вхідного сигналу з частотою, що не кратна частоті основної гармоніки.

Аналізуючи параметри цієї послідовності, можна визначити рівень перешкод, не виключених з $\{z_j\}$ і, імовірно, з $\{q_i\}$ (тобто з вільної складової). З використан-

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						30
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

ням отриманого значення, зокрема, визначається тривалість інтервалу T_2 , на якому аналізується вільна складова.

Отримавши послідовність значень вільної складової перехідного процесу $\{q_i\}$, виявляють моменти зміни знаку цієї послідовності (моменти переходу через «0») t_1, t_2, \dots, t_m . Виявлення переходів виконується до тих пір, поки рівень сигналу не стане відповідним з рівнем перешкод, отриманим раніше з послідовності $\{z_j\}$. Потім обчислюється значення резонансної частоти за формулою:

$$f_0 = \frac{0.5}{\frac{1}{m-1} \sum_{i=2}^m (t_i - t_{i-1})}, \quad (2.2)$$

де m – число виявлених переходів.

Розглянемо переваги і недоліки запропонованого методу діагностики ПА.

Перша перевага полягає у відсутності високих вимог до обчислювальної потужності і об'єму пам'яті МПК, що реалізує метод. Це пов'язано з тим, що шляхом нескладної модифікації описаного алгоритму можна уникнути необхідності зберігання в пам'яті послідовностей миттєвих значень сигналу $\{x_j\}$, і $\{x'_j\}$ – досить зберегти тільки послідовність $\{s_j\}$. При цьому отримання значень $\{s_j\}$, винятком вимушеної складової, виявлення переходів через «0» і обчислення тривалості півперіодів буде виконуватися у міру надходження чергових кодів з АЦП.

Друга перевага полягає в можливості виключення вимушеної складової, частота якого може наближатися до частоті УР (в граничному випадку частоти можуть бути навіть рівні). Така можливість не забезпечується традиційними методами (наприклад, фільтрацією).

Третя перевага полягає у високій швидкості діагностики. Це важливо, оскільки при використанні даного методу (як і інших, згаданих в статті) під час діагностики ПА не може виконувати свої основні функції. Тестовий імпульс і перехідний процес, викликаний ним, мають сумарну тривалість близько 20мс, тобто приблизно один період коливальних з частотою 50Гц. Втрата значень сигналу протягом одного періоду зазвичай не є критичною для роботи ПДГ. Крім того, при необхідності фрагмент сигналу, спотворений тестовим імпульсом і перехідним процесом, може бути програмно замінений попередньо збереженою послідовністю $\{s_j\}$.

Основний недолік методу полягає в тому, що з його допомогою можна визначити частоту тільки для датчиків, що вимірюють вібрацію з явно вираженим періодичним характером. Всі складові вібрації з частотою, що не кратною частоті основної гармоніки, а також мають випадковий характер, сприймаються як перешкоди і спотворюють результат вимірювання. Крім того, метод не дозволяє діагностувати такі несправності, як зміна коефіцієнта передачі датчика (наприклад, під впливом високої температури або з плином часу).

Зіставляючи переваги і недоліки розглянутого методу можна зробити висновок, що його доцільно використовувати в сучасних датчиках, виконаних на основі універсальних мікропроцесорних контролерів з обмеженими обчислювальними ресурсами.

2.3.Контроль працездатності акселерометра на основі використання структурної надлишковості

В багатьох сучасних датчиків є вбудовані системи контролю дієздатності та калібрування, але ще не закладені принципи, що могли б проводити вимірювання з необхідною точністю при відмові одного з головних функціональних блоків. В реальних умовах користувач мусить розглядати різні робочі характеристики більшості датчиків, щоб обрати оптимальний для конкретних умов застосування, при тому вибір залежить від багатьох факторів: вартість, точність, температура та інші.

В більшості випадків критерієм вибору методу вимірювання та конструкції датчика є висока точність вимірювання, тобто похибка не більше 0,01%.

В роботі розглядаються питання інформаційно-вимірювальних технологій, актуальні для авіації: розробка безконтактних датчиків; підвищення точності вимірювань похибки шляхом індивідуального калібрування.

Проведений аналіз методів, пристроїв і систем автоматизації вимірювання величин дозволяє сформулювати одну з важливих задач, що виникає при автоматизації вимірювання величин, таку як, розробка сучасних датчиків з цифровим виходом з вбудованим самоконтролем працездатності і самокалібруванням.

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						32
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

Для підвищення метрологічних характеристик датчик може здійснювати автоматичний самоконтроль його функціонування і проводити періодичне самокалібрування. Цього можна дійти за допомогою котушки, закріпленої на мембранній коробці, шляхом введення системи котушок збудження, аналого-цифрового перетворювача і мікроконтролера.

Мікроконтролер виконує завдання, які можна розділити на дві групи: завдання, пов'язані із забезпеченням апаратно-програмної взаємодії частин схеми, необхідних для проведення вимірювань і задачі математичної обробки результатів і внесення калібруючих поправок.

Керуючий мікроконтролер для проведення повного циклу вимірювання забезпечує: початкові установки самого мікроконтролера і рідкокристалічного індикатора; керування блоком комутації; безпосереднє вимірювання вихідного сигналу за допомогою вбудованого АЦП.

Самокалібрування передбачає завдання деяких опорних значень - еталонів. При лінійній передатній функції таких значень повинно бути як мінімум два, після отримання цих двох значень можна скорегувати нахил поверхні, а також компенсувати дрейф нуля.

При калібруванні визначення масштабу вимірюваної величини x по вихідний величині y можливо двома способами:

- 1) визначення передатної характеристики $y = f(x)$ на певній частоті;
- 2) визначення частотної характеристики при заданому значенні амплітуди.

Процес калібрування в будь-якому випадку передбачає використання опорного сигналу.

Калібрування передбачає подачу на вхід заздалегідь відомих величин. Для калібрування лінійної передатної функції достатньо задати два еталонних значення. При цьому для забезпечення автоматизованого процесу калібрування необхідно повідомити пристрою величину, що задається і моменти включення і виключення на вхід пристрою.

Калібрування вимірювального тракту «вимірювальна котушка - вихідний цифровий сигнал» може виконуватися без застосування спеціальних еталонних

засобів. Даний факт дозволяє проводити цей вид калібрування періодично в процесі роботи пристрою в реальному часі. Суть даного коригування полягає в наступному: є шість результатів вимірювання положення вимірювальної котушки за один повний цикл вимірювання, це являє собою запас надмірності, він може бути використаний як для калібрування, так і для визначення відмов, тобто для автоматичного самоконтролю.

Калібрування вимірювального тракту «вимірювальна котушка - вихідний цифровий сигнал» являє собою побудову окремих передатних характеристик для кожної котушки, що дозволить скорегувати вимірювану частину інформації на ранніх етапах. Корекції будуть вноситися після завершення одного циклу виміру.

Протягом повного циклу вимірювань отримують шість напруг, пропорційних відстані між котушками. Ці величини використовуються для визначення відмов (автоматичного самоконтролю).

Автоматичний контроль проводиться наступним чином. На першому етапі вимірювання визначаються чотири величини напруги, вони пропорційні відстані між обмотками. Для знаходження завідомо неправдивого результату порівнюємо максимальне і мінімальне положення котушки, певні при підключеннях двох будь-яких задають катушок. Якщо вони розрізняються більше ніж на 5%, то робимо висновок, що вимір при підключенні однієї з катушок було зроблено з помилками. Після цього можна порівняти ці результати з іншими, і виключити невірний. Якщо дана помилка повторюватиметься періодично, то котушка, вважатися несправною. Якщо значення координати вимірювальної котушки, яке отримано після першого етапу вимірювання, відрізняється від значення, отриманого на другому етапі більш ніж на 3%, то це означає, що в пристрої є невідповідність, причиною якої може бути відхилення характеристик від допустимих, що викликано відмовою пристрою.

За допомогою калібрувальної котушки часто проводять поточну перевірку акселерометра, тобто це дає можливість використовувати додатковий вимірювальний елемент датчика в системах автоматизації, керування та контролю виробничих процесів складання приладу.

2.4 Дослідження можливості ідентифікації параметрів акселерометра

Для перевірки можливості модернізації акселерометра, з метою створення системи діагностики його стану, була взята модель акселерометра АК-Д4 з параметрами:

діапазон вимірювань $\pm 12g$;

коефіцієнт перетворення $-1.4 \pm 10\% \text{ мА/г}$;

частота власних коливань 200 Гц.

В акселерометрі реалізована традиційна для компенсаційних маятникових акселерометрів силова схема зрівноваження. Первинний прямий перетворювач – оптичний, вторинний зворотній –магнітоелектричний. При доповненні структурної схеми акселерометра додатковою калібрувальною котушкою, можна забезпечити перевірку працездатності вимірювача, а саме перевірку поточного стану чутливого елемента – його власну частоту і ступінь згасання.

Для цього був взятий масив амплітуд коливань чутливого елементу акселерометра з власною частотою 180Гц і різними ступенями згасання. За допомогою метода, що запропоновано в роботі [6], було проведено визначення частоти власних коливань маятника.

Програмна модель дослідженого акселерометра була створена в середовищі Matlab, також було використано пакет Simulink. Головна програма accelerometer.m задає параметри чутливого елемента і параметри руху основи. А саме коефіцієнт затухання, масу, жорсткість підвісу, частота коливань, амплітуда, прискорення.

Код керуючої(головної) програми accelerometer.m має вигляд:

```
clc, clear all
```

```
global m c f Axs Axm om
```

```
%% Параметри чутливого елемента, та руху основи
```

```
m=4.173e-9;
```

```
c=0.108; %H/m
```

```
f=2.5e-5;
```

```
Axm=5;
```

```

om=100;
Axc=9.8; % [m/c2]
%% Чисельне інтегрування
T=0.015; %Час інтегрування
y0=[0 0]; % Початкові умови
[tout, yout]=ode45('Aks', T, y0); % Чисельне інтегрування методом 4 по-
рядка
t=tout; y=yout; %Вихідні вектори
Ax=y(:,1);
%% Simulink
figure
sim('acceler_sim')
t=tout; y=yout;
Ax=y;
plot(t,Ax,'-*','LineWidth',6),grid
set(gca,'FontSize',16)
title ('Координата X')
ylabel('м')
xlabel('Час, с')

```

Функція правих частин, що створена для процесу чисельного інтегрування функцією ode45

```

function_of_right_parts.m
%% Функція правих частин
function z=Aks(t,y)
global m c f
Ax=Dv_Osn(t);
z(1)=y(2);% параметр x
z(2)=-Ax-(f*y(2)+c*y(1))/m;
z=z';

```

Моделювання лінійного прискорення задане в move_of_basis.m


```

function Ax = Dv_Osn(t)
global Axc Axm om
Ax=Axc+Axm.*sin(om.*t);

```

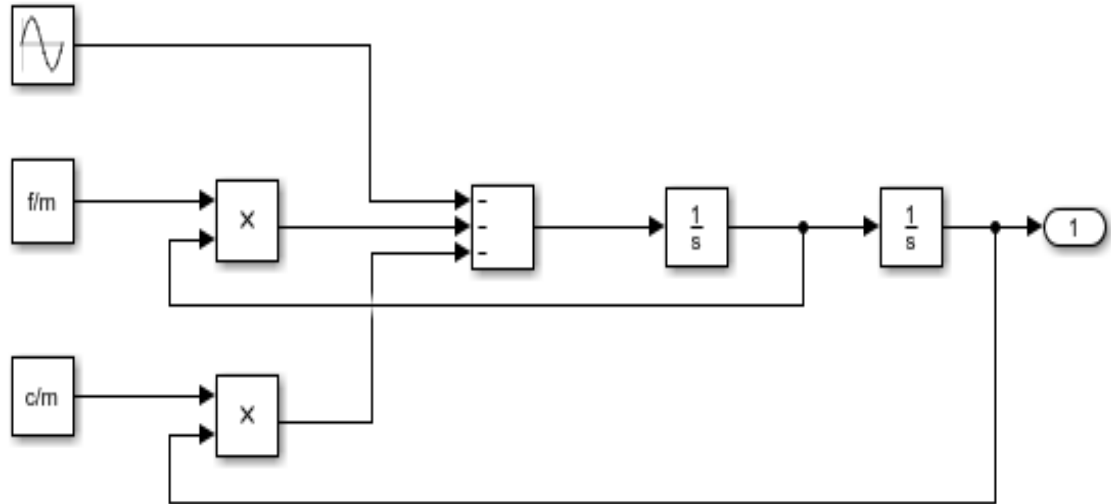


Рис 15. Блок-схема дослідження в Simulink

Результати ідентифікування власної частоти маятника

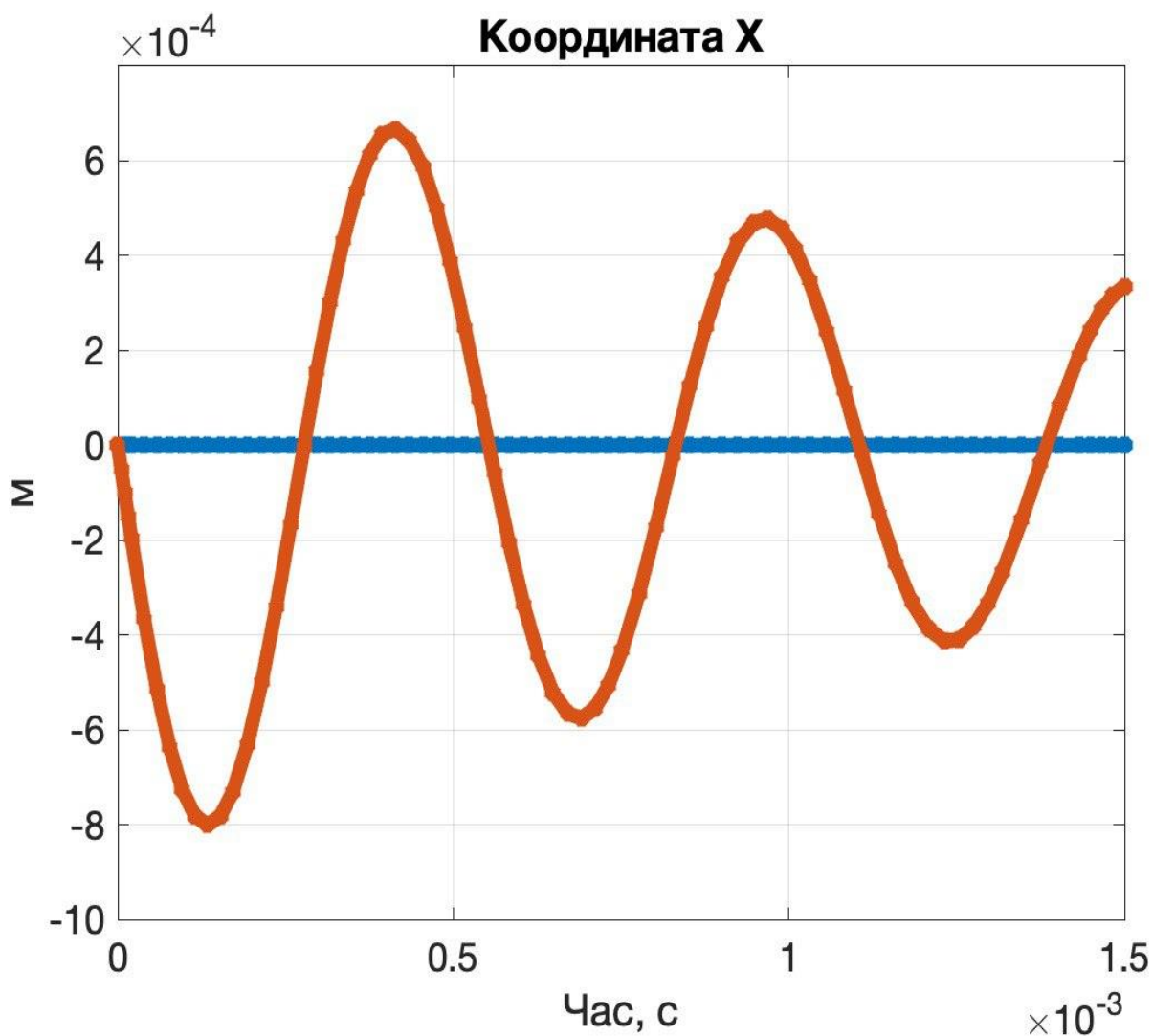


Рис 16. Залежність амплітуди від часу при демпфуванні $f = 0,5 \times 10^{-5}$

Період коливання становить: $T = 0,0055$ с. Звідси ми можемо ідентифікувати частоту коливань.

$$\nu = 1/T = 1/0,0055 = 1.81 \times 10^2 \text{ Гц}$$

Проведемо аналогічні розрахунки для кожного отриманого результату (графіку).

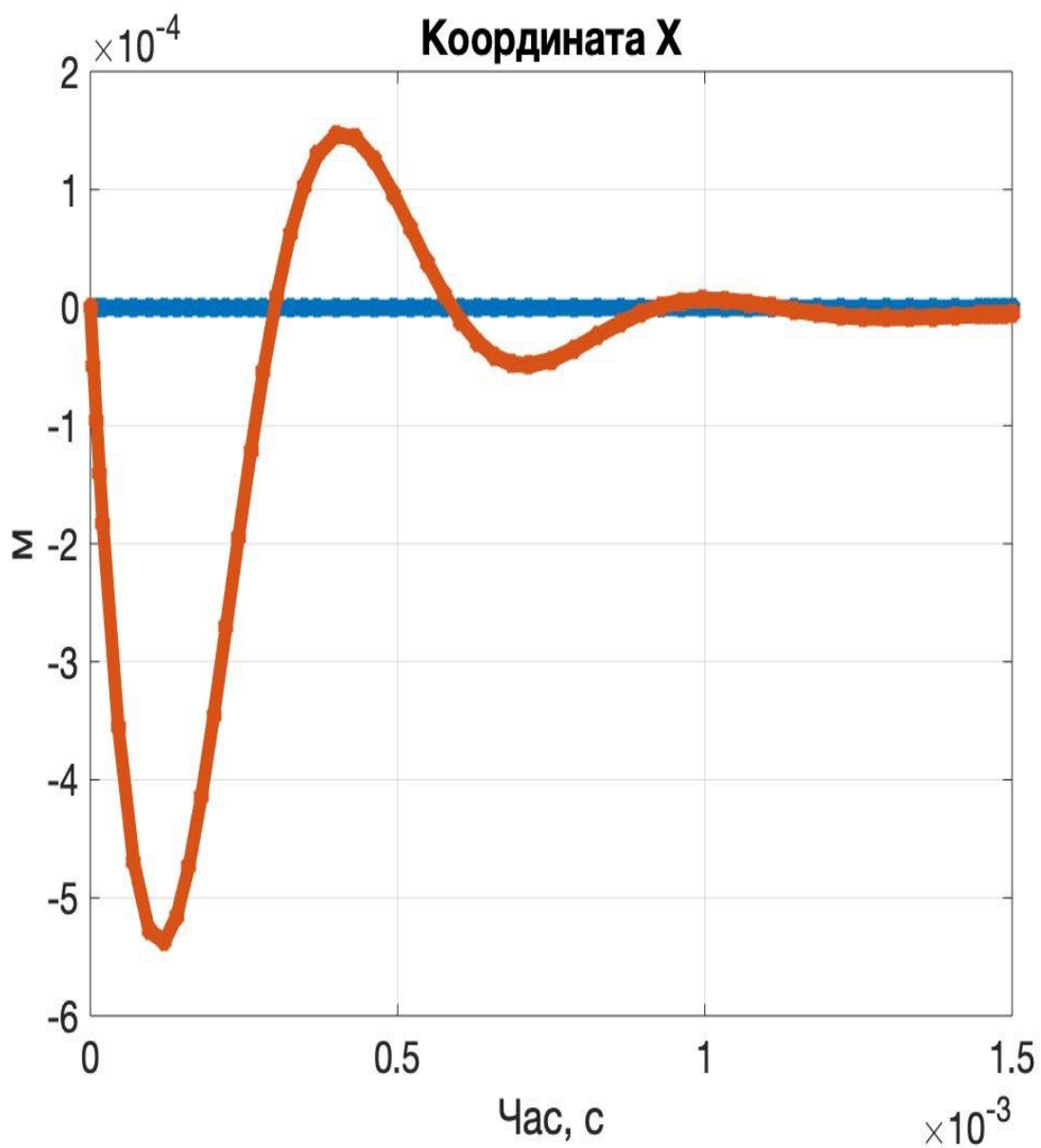


Рис 17. Залежність амплітуди від часу при демпфуванні $f = 2,1 \times 10^{-5}$

В даному досліді період коливань становить:

$$T = 0,005894\text{с}$$

$$\nu = 1/T = 1/0,0059 = 1.69 \times 10^2 \text{Гц}$$

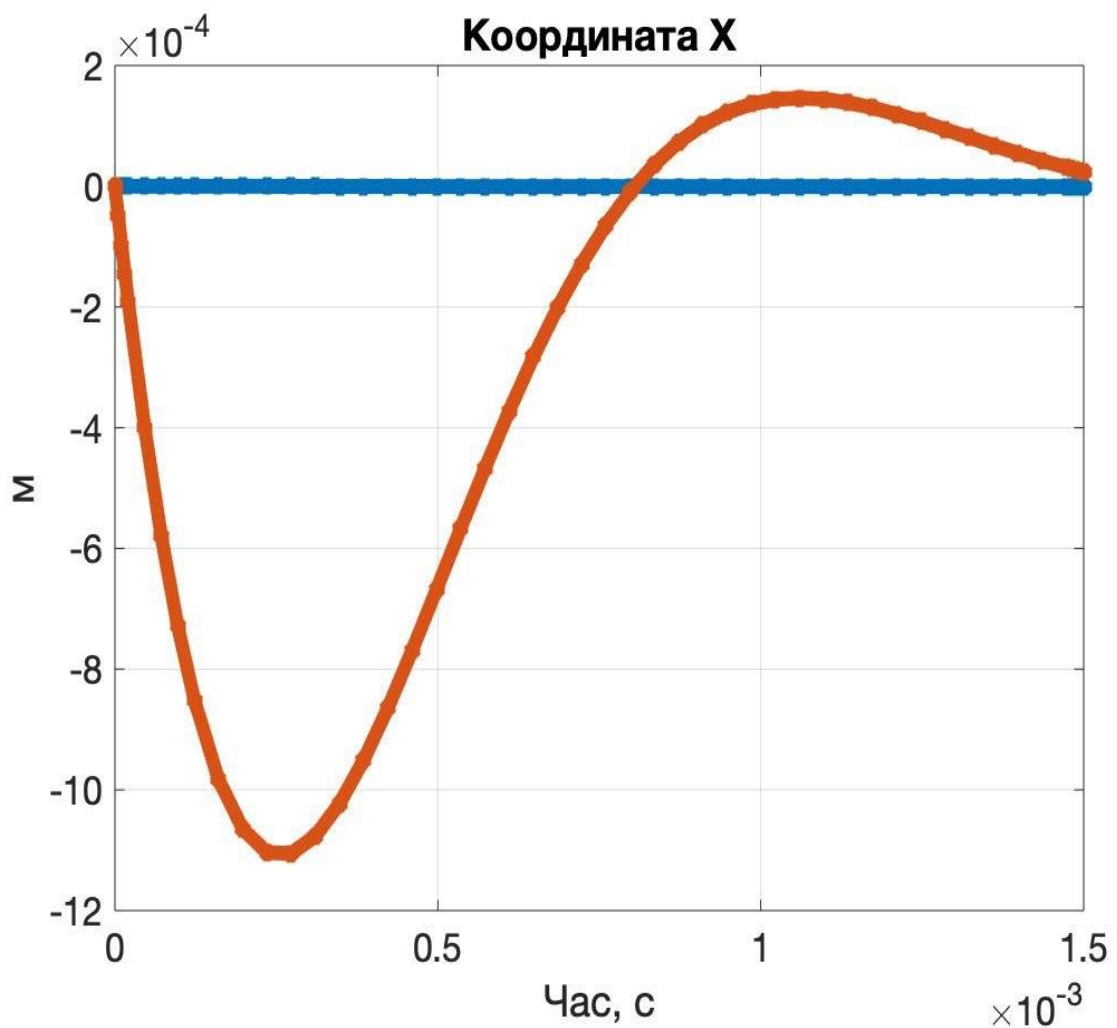


Рис 18. Залежність амплітуди від часу при демпфуванні $f = 3,5 \times 10^{-5}$

В завершальному досліді встановлено, що:

$$T = 0,001601\text{с}$$

$$\nu = 1/T = 1/0,001601 = 624,6\text{Гц}$$

Висновок: результати ідентифікації власної частоти маятника акселерометра показали, що похибка ідентифікованої частоти власних коливань маятника збільшується з збільшенням демпфування. При суттєвому значенні коефіцієнта демпфування похибка стає неприйнятною.

2.5 Розрахунок магнітоелектричного перетворювача акселерометра

Для створення системи ідентифікації коефіцієнта перетворення акселерометра необхідно провести розрахунок додаткового вимірювача параметрів руху чутливого елемента - _калібрувальної котушки.

Конструкцію акселерометрів магнітоелектричного типу можна уявити, як таку, що складається з механічної та електричної частини.

Механічна (маятникова) система складається з маятника 7, який включає інерційну масу 8, корпус маятника 7 і пружні елементи системи підвісу 6 і 5.

Електрична система - електромагнітний перетворювач, що складається з обмотки котушки 9, яка знаходиться в магнітному полі постійних магнітів 4, шунту 2 та затискачів 3 для підключення акселерометра до об'єкту.

Нижче наведено розрахунок акселерометра, що призначений для блока вимірювання амплітуди прискорення коливань об'єкту по трьом координатам. Для вимірювання прискорень у вертикального напрямку датчик розташовується так, щоб вимірювальна вісь була розташована вертикально. Інерційна маса, складається з катушок, що укріплені на пружинах, і повинна мати досить високу частоту власних коливань. Розрахуємо основні параметри чутливого елемента.

Частота власних коливань катушки.

Знаходиться із співвідношення:

$$f = 1/6.28(c/m)^{0,5},$$

де c - жорсткість пружини, Н / м;

m - маса всіх складових одиниць чутливого елемента (маси двох вимірювальних катушок, катушки діагностики і пружного елемента), кг.

В конструкціях таких акселерометрів пружний елемент рухомої маси складається з двох плоских пружин змінного перерізу з наступними характеристиками: мінімальна товщина -0,002 мм, ширина 0,75 мм. Несиметричність пружного елемента одного відносно другого – не більше 0,005 мм. Для виготовлення таких пружних елементів використовується високоточні технології фрезерування.

В конструкції акселерометра жорсткість плоских пружин $c = 14,8$ Н/м.

Маса катушок з деталями підвісу $m = 9,79 \times 10^{-3}$ кг.

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						41
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

Приведені маси плоских пружин $m_{\text{пр}} = 0,2 \times 10^{-4} \text{ кг}$.

Тоді частота власних коливань, обчислена за представленою вище формулою, складає $f = 180 \text{ Гц}$.

2. Індукція магнітного поля в робочому зазорі .

В конструкції, що розглядається, провідність робочого повітряного зазора G_r відноситься до циліндричної частини поверхні магніту.

Площа перерізу потоку в середній частини котушки визначається за формулою

$$S = 6,28 R_c h,$$

де R_c – опір котушки, Ом;

h – довжина котушки,

а індукція поля магніту в середній частині магніту

$$B = \frac{B_{2SM}}{\sigma_{2\pi R_c h}}.$$

Для конструкції магніту, що використовується в акселерометрі,

$$B = 0,11 \text{ Тл}.$$

Довжина провідників, що перетинаються полем.

Вся котушка складається з двох обмоток з числом витків W кожна. Обидві обмотки включаються зустрічно. Загальне значення наведеної е.р.с. дорівнює сумі е.р.с. кожної, так як ці обмотки перетинаються полем різного знаку.

Активна довжина обмотки:

$$l_a = 2hW/l_k 2R_c$$

де W/l_k - число витків на одиницю довжини котушки,

h – довжина котушки.

У даній конструкції перетворювача $W = 2500$; $l_k = 14,1 \text{ мм}$.

Відносна швидкість коливального зміщення котушки.

Амплітудне значення цієї швидкості V_m , при максимальному значенню зміщення X_m визначається із співвідношення

$$V_m = 6,28 \times f \times X_m.$$

Якщо прийняти $X_m = 1 \text{ мк} \times 10^{-6} \text{ м}$, частоту вібрації $f = 50 \text{ Гц}$,
то $m = 4,87 \times 10^{-3} \text{ м/с}$.

Електрорушійна сила на виході датчика

$$E_m = B l a V_m = 0,11 \times 14,1 \times 3,14 \times 1 \times 10^{-4} = 4,86 \times 10^{-3} \text{ В.}$$

E_m - максимальне значення ЕРС на виході, що визначаються швидкістю коливального зміщення котушки і поля магніту. Для визначення величини зміщення X_m , треба інтегрувати отримане значення.

4. Інтегруючий контур виконується зазвичай у вигляді контуру RC. На вхід контуру подається напруга з виходу перетворювача.

Рівняння напруг контуру:

$$E(t) = U_r + U_c.$$

Для інтегруючого контуру опір R вибирається в багато разів більшим опору $1/wC$.

Тоді падіння напруги $U_r \gg U_c$ і значенням U_c можна знехтувати.

В цьому випадку :

$$i = E(t)/R.$$

Таким чином, значення U_c пропорційне інтегралу за часом вхідного сигналу, але ослабленому в RC раз, а в разі, коли вхідний сигнал є гармонійним коливанням

$$E = E_m \sin wt$$

І це послаблення буде в wRC раз більшим.

При ємності $c = 2 \text{ мкФ}$

$$1/wC = 1590 \text{ Ом.}$$

Загальна омичний опір обмотки обох котушок $R_o = 5200 \text{ Ом}$.

Задаючись відношення $R_1 / C = 7$, отримуємо :

$$R = 7 * 1590 = 11130 \text{ Ом.}$$

Опір контуру:

$$R_k = 11130 - 5200 = 5930 \text{ Ом.}$$

$$R_k = 6000 \text{ Ом.}$$

Загальний опір:

$$R = 6000 + 5200 = 11200 \text{ Ом.}$$

Включення інтегруючого контуру викликає ослаблення сигналу вібродатчика в 7,05 раз.

5. Результируючі дані

При $f = 50 \text{ Гц}$ і амплітудою зміщення 1 мк напруга на виході перетворювача

$$E_m = 4,87 \cdot 10^{-3} \text{ В,}$$

а напруга на виході інтегруючого контуру

$$E_d = 4,87 \cdot 10^{-3} / 7,05 = 0,691 \text{ мВ}$$

Висновки:

В дипломному проекті було оглянуто типи акселерометрів та схеми їх побудови. Розглянуто види реалізації функції самодіагностики. Обрано кінематичну схему та елементну базу для дослідження системи ідентифікації параметрів акселерометра. Розроблено програмну модель акселерометра для ідентифікації періоду та частоти гармонійних згасаючих коливань чутливого елементу акселерометра. Показано, що з збільшенням демпфування коливальної системи, точність відтворення частоти зменшується.

					ЛП 6115 00 000 ПЗ	Лрк
						44
Зм	Лрк	№ докум	Підпис	Дз		

Список літератури

- [1] Компенсационный акселерометр. Кулешов В. В.
- [2] Реализация функций самодиагностики интеллектуальных датчиков вибрации // Лачин В. И., Плотников Д. А.
- [3] Гибридные микроэлектромеханические гироскопы и акселерометры / Коновалов С.Ф., Пономарев Ю.А., Майоров Д.В., Подчезерцев В. П., Сидоров А. Г. //Наука и образование
- [4] Дослідження резонансних частот та власних форм коливань чутливих елементів акселерометрів / наукові та практичні проблеми виробництва приладів та систем. Дубінець В. І
- [5] Метод автономной косвенной идентификации коэффициента преобразования маятникового компенсационного акселерометра в условиях орбитального полета космического аппарата. в.и. миронов, и.в. фоминов, а.н. малетин
- [6] Простейшие приемы определения параметров сейсмоприемников и их пригодности для полевой работы // <http://fccland.ru/geofizicheskie-metody-poiska/1613-prosteyschie-priemy-opredeleniya-parametrov-seysmopriemnikov-i-ih-prigodnosti-dlya-polevoy-raboty.html>
- [7] Особенности поверки сейсмоприемников./ : Ивлев Л.Е., Коновалова Т.Н.// «Датчики и системы» № 2 2012.

					ΛΠ 6115 00 000 Π3	Αρκ
						5
24	Αρκ	ΝΟ ΠΟΛΥΜ	Πίνακας	Δ2		